



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Regninput til regnvandsdisponering i Aarhus Vands forsyningsområde

Arealreduktionsfaktorer

Thorndahl, Søren Liedtke

Publication date:
2017

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Thorndahl, S. L. (2017). *Regninput til regnvandsdisponering i Aarhus Vands forsyningsområde: Arealreduktionsfaktorer*. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Technical Memorandum No. 67

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG
AALBORG UNIVERSITET

Regninput til regnvandsdisponering i Aarhus Vands forsyningsområde

Arealreduktionsfaktorer

Søren Thorndahl

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for Vand og Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Ø

DCE Technical Memorandum No. 67

Regninput til regnvandsdisponering i Aarhus Vands forsyningsområde

Areal reduktions faktorer

Søren Thorndahl
e-mail: st@civil.aau.dk
tlf.: 99 40 84 75

Oktober 2017

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmaterial udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2017 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for Vand og Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Ø

ISSN 1901-7278
DCE Technical Memorandum No. 67

Forord

Dette tekniske memorandum er udarbejdet af Søren Thorndahl, Aalborg Universitet til brug i den Regnvandsdisponeringsplanlægning som pågår hos Aarhus Vand i efteråret 2017. Arbejdet er udført som en del af udviklingsprojektet KLIMAKS - Klimafremskrivning af målt nedbør til afløbsteknisk anvendelse som er finansieret af VUDP (Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram), Projekt ID: 1162.2017 samt Aarhus Vand.

Memorandummet beskriver det præliminære arbejde i forhold til at tage højde for arealfordelingen af regn i dimensionering af regnvandssystemer og regnvandsdisponeringsplanlægning til brug i Aarhus Vands forsyningsområde.

Tak til Christoffer Bang Andersen, Civilingeniørstuderende i Vand og Miljø ved Aalborg Universitet, for bidrag til memorandummet samt DMI og Spildevandskomiteen for tilgængeliggørelse af data.

Indledning

Aarhus Vand har i deres regnvandsdisponeringsplanlægning ønsket at belyse hvorledes arealfordelingen af regn påvirker dimensioneringspraksis for afløbssystemer. Hidtil har der i Danmark ikke været tradition for at tage højde for arealfordelingen af regn i dimensioneringssammenhæng, og således er de punktmålinger og tilhørende regnstatistik der stammer fra Spildevandskomiteens regnmåler netværk, været anset som repræsentative for et helt opland uanset dets størrelse.

Dette notat forsøger derfor at udvikle en simpel metode til, beregningsmæssigt, at kunne implementere en regnbelastning der afhænger af et givent oplands størrelse. Herved kan konsekvenserne ved anvendelse af en arealfordelt regn vurderes og sammenlignes med traditionelle punktregnspraksis. Oplandsarealet introduceres således som en yderligere parameter i dimensioneringspraksis sammen med regnintensitet, regnvarighed og gentagelsesperiode.

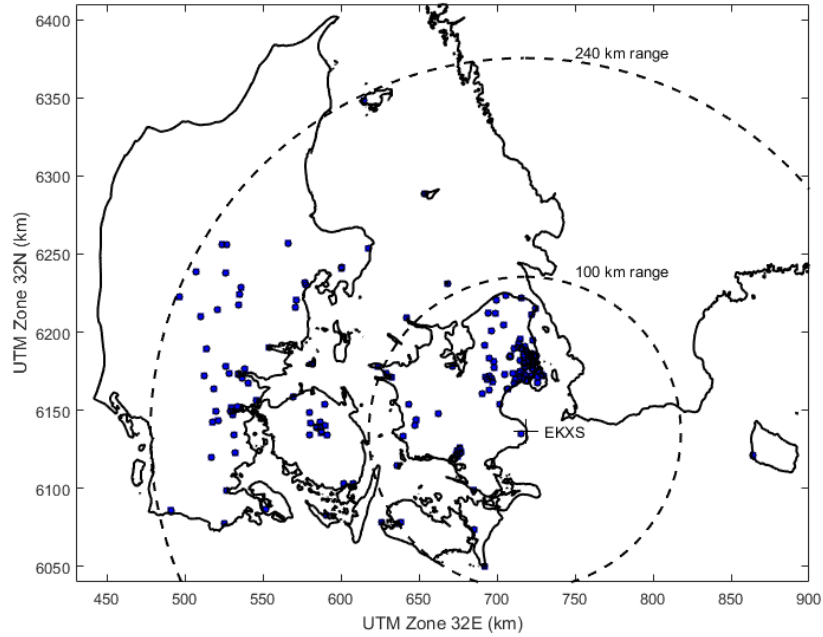
Metoden tager udgangspunkt i arealreduktionsfaktoren (*ARF*), der beskriver forholdet mellem arealdistribueret regn og punktregn. Arealreduktionsfaktoren kan antage værdier mellem 0 og 1, hvor 1 angiver overensstemmelse mellem areal- og punktregn.

Til bestemmelse af arealreduktionsfaktoren anvendes et radardatasæt fra DMIs C-båndsradar opstillet på Stevns. Denne radar dækker ikke kvantitativt Aarhus Vands forsyningsområde, men det forventes ikke at der i Danmark vil være afgørende regional variabilitet i bestemmelsen af arealreduktionsfaktoren.

Data

I dette notat anvendes radardata fra DMIs Stevns-radar fra perioden 2002 til 2016. Datasættet er beskrevet i detaljer i Thorndahl et al. (2014) hvor også den daglige bias-justering af datasættet der er foretaget, i forhold til spildevandskomiteens regnmåler netværk, er beskrevet. Datasættet er advektions-interpoleret fra 10 minutters tidslig opløsning til 1 minuts opløsning (Nielsen et al., 2014). Den stedlige opløsning af de processe-rede kartesiske radardata er 500 m x 500 m svarende til et pixelareal på 0,25 km². I de følgende beregninger antages det at regnen i et punkt, dvs. uden arealudbredelse, svarer til én pixel, velvidende at der inden for én pixel kan være en stedlig variabilitet af regnen.

Arealreduktionsfaktoren er baseret på 655 udvalgte regnvejrsdage med mere en 1 mm registreret nedbør i en af de regnmålere der er inden for 100 km radius fra radaren (se figur 1).



Figur 1: Stevnsradarens (EKXS) placering, rækkevidde (240 km) og kvantitativ rækkevidde (100 km) samt SVK regnmålere.

Metodebeskrivelse

Arealreduktionsfaktoren (ARF) er i dette notat defineret som forholdet mellem maksimal regnintensitet (i_{\max}), midlet over en given regnvarighed (d) og et givent areal (A), og den maksimale regnintensitet i et punkt, 0, (Ceresetti et al., 2012):

$$ARF(d, A) = \frac{i_{\max}(d, A)}{i_{\max}(d, 0)} \quad (1)$$

Rodriguez-Iturbe and Mejía (1974) definerer ARF som:

$$ARF = \sqrt{\rho} \quad (2)$$

Hvor ρ er den spatiale korrelationskoefficient som på følgende måde kan estimeres jf. Svensson and Jones (2010)

$$\rho = \exp\left(-\frac{A}{\lambda^2}\right) \quad (3)$$

Hvor λ er korrelationslængden og $\frac{A}{\lambda^2}$ betegnes som det skalerede areal. Korrelationslængde kan fittes til regnvarigheden (d) ved følgende potensfunktion:

$$\lambda = a_1 d^{a_2} \quad (4)$$

Hvor a_1 og a_2 er fittede parametre. Med udgangspunkt i en forsimpning af Villarini et al. (2008) kan ARF vha. de to yderligere parametre c_1 og c_2 fittes til følgende udtryk:

$$ARF(A, d) = \exp \left[-c_1 \left(\frac{A}{(a_1 d^{a_2})^2} \right)^{c_2} \right] \quad (5)$$

Denne metode har vist sig at passe godt til at estimere de fire parametre a_1 , a_2 , c_1 og c_2 hændelsesbaseret.

Procedure:

1. For hver regndag i radardatasættet, beregnes de maksimale regnintensitet over regnvarighederne: 1, 10, 30, 60, 180, 360, 720 og 1440 minutter samt over midlingsarealerne 0,25, 1,00, 2,25, 4,00, 6,25, 16,00, 25,00, 36,00, 56,25, 100,00 km², således der forekommer 80 kombinationer af regnvarighed og areal.
2. Empiriske arealreduktionsfaktorer bestemmes for hver ud fra formel 1.
3. For hver regnvarighed fittes en værdi for λ , således at der for hver regndag kan estimeres hvordan d og λ anghænger af hinanden med parametrene a_1 og a_2 (Formel 4)
4. Når a_1 og a_2 kendes kan c_1 og c_2 estimeres ud fra formel 5, således der for hver hændelse etableres en sammenhæng mellem ARF som funktion af varighed og areal.
5. Når der er estimeret en funktion for ARF pr hændelse er det interessant at generalisere resultaterne, således at der kan udledes en gennemsnitlig anvendelig funktion for arealreduktionsfaktoren. Dette gøres ved at samle alle beregnede λ -værdier og regnvarigheder og lave et samlet estimat vha. formel 4, således a_1 og a_2 kan bestemmes som en gennemsnitsbetragtning af alle hændelser.
6. På tilsvarende vis kan c_1 og c_2 bestemmes som en gennemsnitsbetragtning for alle hændelser ved at fitte de empiriske værdier for ARF (formel 1) til udtrykket i formel 5, hvor a_1 og a_2 værdierne er fundet i ovenstående punkt.

Ud over en gennemsnitlig arealreduktionsfaktor kan det være interessant og undersøge hvorvidt arealreduktionsfaktoren varierer med gentagelsesperioden på regnen (T):

$$ARF(d, A, T) = \frac{i_{max}(d, A, T)}{i_{max}(d, 0, T)} \quad (6)$$

Ceresetti et al. (2012) argumenterer for at det kan være svært at bestemme afhængigheden af gentagelsesperioden direkte; dels på grund af en usikker bestemmelse af gentagelsesperioden for de største regnintensiteter, og dels at der er et begrænset datagrundlag for store gentagelsesperioder i forhold til små. For at imødekomme sidstnævnte, er der i nærværende notat lavet en gruppering af datasættet, således ARF kan bestemmes for hver af de tre grupper i stedet for en kontinuert funktion som angivet i formel 6.

Således opdeles der efter gentagelsesperioder (T) i tre kategorier:

- Hverdagsregn (fx til overløbsberegninger): $T < 1 \text{ år}$
- Dimensioneringsregn (fx til dimensionering af ledning og bassiner): $T \geq 1 \text{ år og } T \leq 10 \text{ år}$
- Ekstremregn (fx til klimatilpasning): $T > 10 \text{ år}$

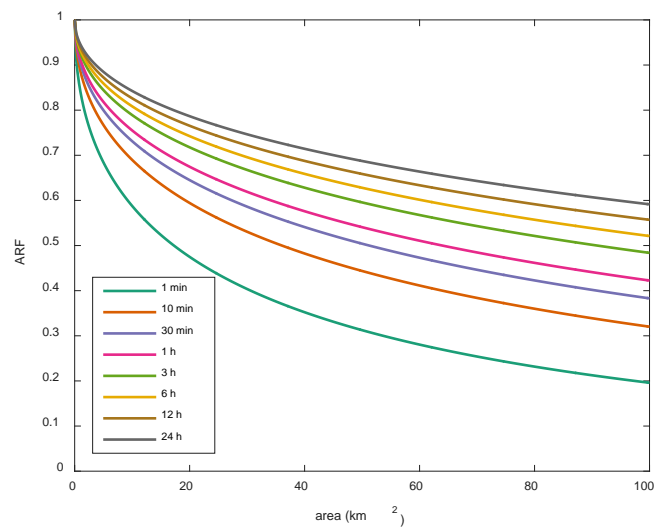
Til bestemmelse af gentagelsesperioder anvendes en metode angivet i Thorndahl et al. (2017) hvor regndagene sorteres efter en arealvægtet middeltagelsesperiode for hele regndagen. Denne værdi medtager alle regnvarigheder og arealer angivet i det ovenstående, og kan derfor tolkes som en gennemsnitlig gentagelsesperiode for en regndag. Således anvendes gentagelsesperioden for en maksimal regnintensitet over en given regnvarighed og et givent areal ikke direkte, men i stedet som et aggregeret mål til at sortere og skelne mellem udvælgelsen af dage i de tre grupperinger.

Resultater

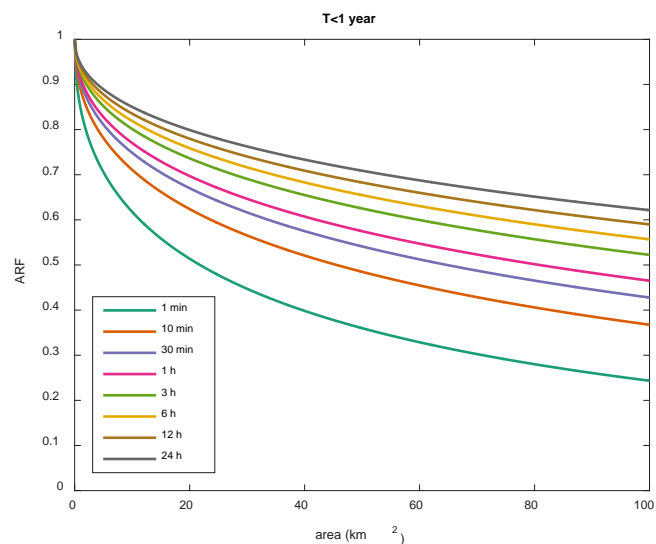
I tabel 1 præsenteres parameterværdier svarende udtrykket for ARF i formel 5 og i figur 2 er ARF vist som funktion af areal og forskellige regnvarigheder for alle hændelser midlet og i figur 3-5 tilsvarende for de udvalgte gentagelsesperioder.

Tabel 1: Parameterværdier for udtrykket for ARF (formel 5).

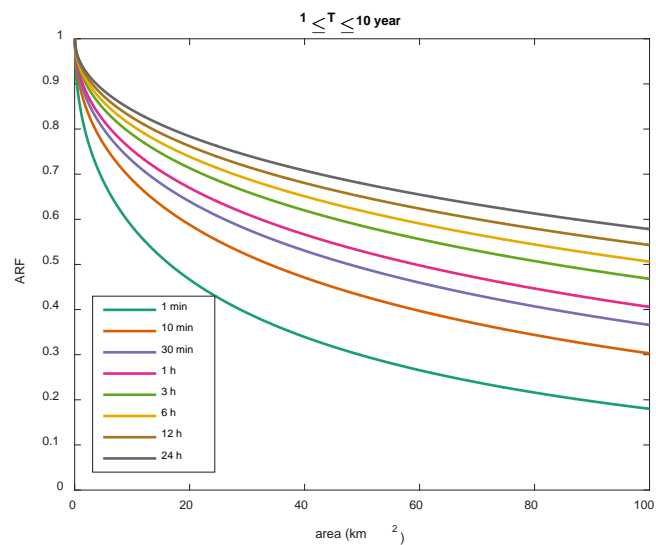
	Middel (alle data)	$T < 1$ år	$1 \leq T \leq 10$ år	$T > 10$ år
c_1	1.62	1.49	1.68	1.90
c_2	0.49	0.47	0.50	0.50
a_1	9.95	10.61	9.81	8.34
a_2	0.16	0.16	0.16	0.17



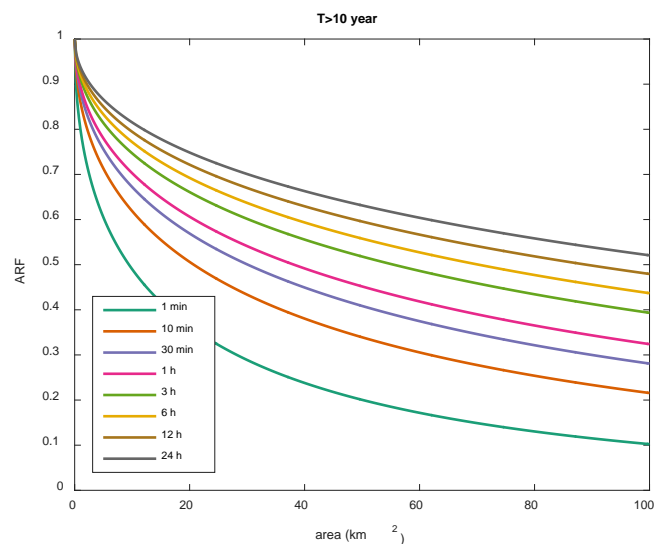
Figur 2: Arealreduktionsfaktor som funktion af areal og regnvarighed (alle hændelser midlet)



Figur 3: Arealreduktionsfaktor som funktion af areal og regnvarighed (gentagelsesperioder mindre end 1 år)



Figur 4: Arealreduktionsfaktor som funktion af areal og regnvarighed (gentagelseperioder mellem 1 og 10 år)



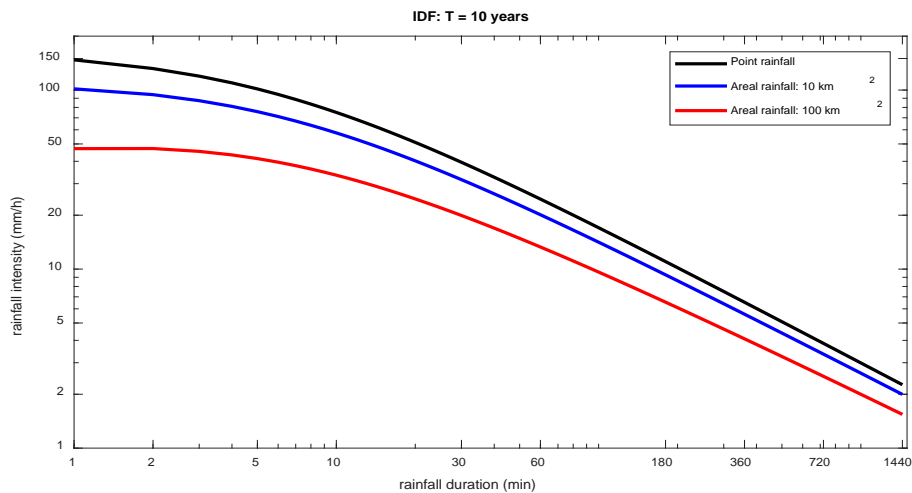
Figur 5: Arealreduktionsfaktor som funktion af areal og regnvarighed (gentagelseperioder større end 10 år)

Implementering

Arealreduktionsfaktoren kan implementeres i det der i Spildevandskomiteens Skrift 27, (SVK, 2007) betegnes som beregningsniveau 1 og 2. Således kan arealreduktionsfaktoren ganges direkte på en given regional dimensionsgivende regnintensitet, fx fra Spildevandskomiteens Skrift 30 (SVK, 2014):

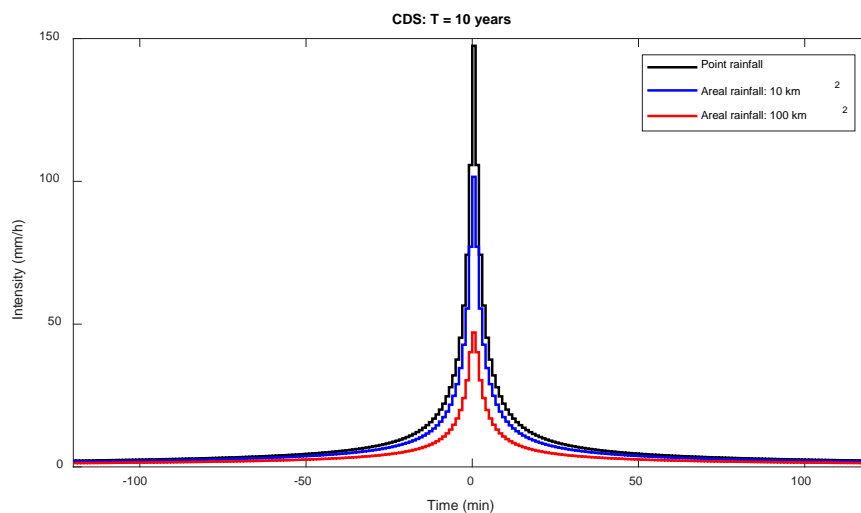
$$i(d, T, A) = i(d, T) \cdot ARF(d, A, T) \quad (7)$$

Et eksempel på implementering i beregningsniveau 1 kan ses på figur 6.



Figur 6: Eksempel på arealreduceret dimensioneringsreg.

Tilsvarende kan der ganges areal reduktionsfaktorer på en CDS-regn, svarende til beregningsniveau 2. Til dette kan det tilknyttede regneark anvendes. Et eksempel er vist i figur 7.



Figur 7: Eksempel på arealreduceret CDS-regn.

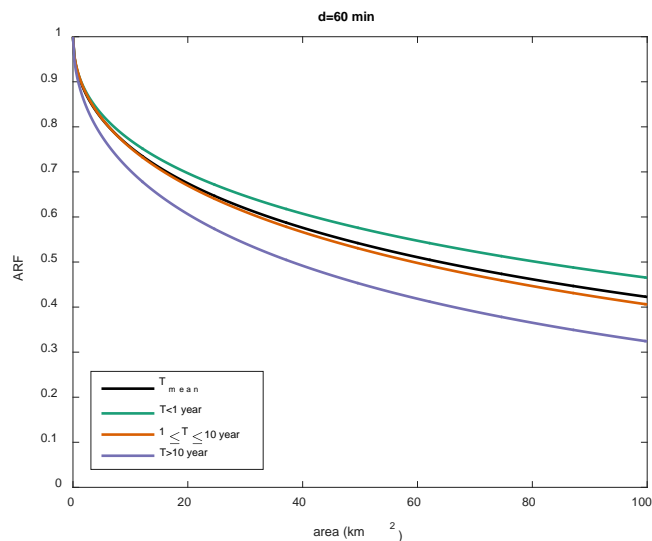
Eksempel

I nedenstående er der lavet et eksempel på brug af arealreduktionsfaktoren.

Det er antaget af Vibyoplandet har et oplandsareal på 700 ha svarende til 7 km^2 og en koncentrationstid på 1 time. Således bliver arealreduktionsfaktorerne for dette opland som angivet i tabel 2 og figur 8. Den dimensionsgivende vandføring vil i givet fald kunne reduceres med ca. 20 % i forhold til at bruge en punktregn som dimensioneringsgrundlag.

Tabel 2: Arealreduktionsfaktorer for Vibyoplandet

	ARF
Middel	0.79
$T < 1$ år	0.80
$1 \leq T \leq 10$ år	0.78
$T > 10$ år	0.75



Figur 8: Eksempel på arealreduktionsfaktorer på Vibyoplandet med en koncentrationstid på 60 min.

Konklusion

I nærværende notat er der beskrevet hvorledes der kan udarbejdes arealreduktionsfaktorer til brug i Aarhus Vands regnvandsdisponeringsplanlægning, for at tage højde for arealfordelingen af regn i dimensioneringssammenhæng. Ud fra 15 års radardata er der etableret en sammenhæng mellem regnvarighed, areal og gentagelsesperiode. Hvor areal og regnvarighed betyder meget for den valgte arealreduktionsfaktor har gentagelsesperioden en mindre betydning.

Referencer

- Ceresetti, D., Anquetin, S., Molinié, G., Leblois, E. and Creutin, J.-D.: Multiscale Evaluation of Extreme Rainfall Event Predictions Using Severity Diagrams, *Weather and Forecasting*, 27(1), 174–188, doi:10.1175/WAF-D-11-00003.1, 2012.
- Nielsen, J. E., Thorndahl, S. and Rasmussen, M. R.: A numerical method to generate high temporal resolution precipitation time series by combining weather radar measurements with a nowcast model, *Atmospheric Research*, 138, 1–12, doi:10.1016/j.atmosres.2013.10.015, 2014.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Mejía, J. M.: On the transformation of point rainfall to areal rainfall, *Water Resources Research*, 10(4), 729–735, doi:10.1029/WR010i004p00729, 1974.
- Svensson, C. and Jones, D. A.: Review of methods for deriving areal reduction factors, *Journal of Flood Risk Management*, 3(3), 232–245, doi:10.1111/j.1753-318X.2010.01075.x, 2010.
- SVK: Funktionspraksis for afløbssystemer under regn, skrift nr. 27., 2007.
- SVK: Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter, Skrift nr. 30., 2014.
- Thorndahl, S., Nielsen, J. E. and Rasmussen, M. R.: Bias adjustment and advection interpolation of long-term high resolution radar rainfall series, *Journal of Hydrology*, 508, 214–226, doi:10.1016/j.jhydrol.2013.10.056, 2014.
- Thorndahl, S., Wright, D., Nielsen, J. E. and Rasmussen, M. R. : Weather radar rainfall for design of urban storm water systems, Abstract from the International Conference on Urban Drainage, Prague 10-15 September 2017., 2017.
- Villarini, G., Mandapaka, P. V., Krajewski, W. F. and Moore, R. J.: Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113(11), 1–12, doi:10.1029/2007JD009214, 2008.

Bilag

Regneark til implementering af arealreduktionsfaktorer på CDS-regn: *ARF-CDS ver 1.1.xls*

